

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
11 DE 38 11 050 A 1

51 Int. Cl. 4:  
H01 B 12/14

21 Aktenzeichen: P 38 11 050.4  
22 Anmeldetag: 31. 3. 88  
43 Offenlegungstag: 19. 10. 89

DE 38 11 050 A 1

71 Anmelder:  
Siemens AG, 1000 Berlin und 8000 München, DE

72 Erfinder:  
Bogner, Günther, Dr., 8520 Erlangen, DE; Krupski,  
Jürgen, Dr., 1000 Berlin, DE; Schnapper, Christoph,  
Dr., 8520 Erlangen, DE

54 Rohrsystem für ein supraleitendes Kabel mit oxidkeramischem Hochtemperatursupraleiter-Material

Das Rohrsystem eines supraleitenden Kabels enthält wenigstens ein starres Innenrohr, in dem mindestens eine supraleitende Leiterader mit einem oxidkeramischem Hochtemperatursupraleiter-Material angeordnet ist, welche von einem entsprechenden Kühlmedium gekühlt wird. Das Innenrohr ist von einem starren Außenrohr konzentrisch umschlossen, wobei der Zwischenraum zwischen Innen- und Außenrohr evakuiert ist. Um kühltechnische Probleme aufgrund von Wirbelströmen in metallischen Rohrteilen zu vermeiden und um einen einfachen Kabelaufbau zu ermöglichen, ist vorgesehen, daß zumindest das Innenrohr (3) aus einem vakuum- und kühlmitteldichten Kunststoffmaterial besteht. Vorteilhaft wird auch das Außenrohr (4) aus diesem Material hergestellt.

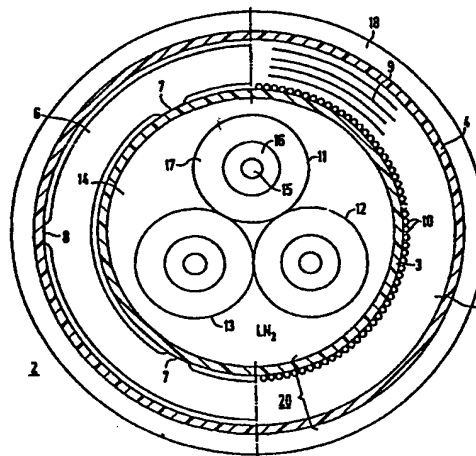


FIG 1

DE 38 11 050 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Rohrsystem für ein supraleitendes Kabel mit wenigstens einem starren Innenrohr, in dem mindestens eine supraleitende Leiterader mit einem oxidkeramischen Hochtemperatursupraleiter-Material angeordnet ist, das von einem entsprechenden Kühlmedium gekühlt ist, und das von einem starren Außenrohr umschlossen ist, wobei zwischen dem Innen- und dem Außenrohr ein evakuierter Zwischenraum ausgebildet ist. Ein supraleitendes Kabel mit einem derartigen Rohrsystem ist z.B. in der Veröffentlichung von A.P.Malozemoff et al: "Applications of High Temperature Superconductivity", IBM T.J.Watson Research Center and Massachusetts Institute of Technology, August 1987, angedeutet.

Zu einer Drehstromübertragung insbesondere auf der gebräuchlichen Spannungsebene von 110 kV werden Kabel gefordert, die für sehr große Leistungen von beispielsweise 1 GVA bei hohen Strömen von z.B. 5 kA ausgelegt sind und bei geringem Platzbedarf günstige Übertragungskosten ermöglichen. Entsprechend große Leistungen werden bisher nur mit künstlich gekühlten Ölkabeln oder SF<sub>6</sub>-Kabeln übertragen.

Entwickelt, jedoch aus wirtschaftlichen Gründen noch nicht eingesetzt, wurden auch supraleitende Hochleistungskabel mit Flüssighelium-Kühlung und Hochvakuumisolation (vgl. z.B. Beitrag von G.Bogner in "Nato Advanced Study Institutes Series", Series B: Physics, Vol. 21: "Superconductor Applications", Plenum Press, New York 1977, Chapter 20, Abschnitt V: "Superconducting Cables", Seiten 672-717). Entsprechende Kabel weisen jeweils ein Innenrohr auf, in dem mindestens eine supraleitende Leiterader angeordnet ist. Diese Leiterader muß von flüssigem Helium (L He) gekühlt werden, das innerhalb dieses Innenrohres geführt wird. Das Innenrohr wird deshalb vielfach auch als Helium (He)-Rohr bezeichnet. Dieses He-Rohr ist von einem vakuumdichten Außenrohr umschlossen, wobei zur thermischen Isolation der zwischen dem Innen- und dem Außenrohr befindliche Zwischenraum evakuiert ist. Als Material für das Außenrohr ist im allgemeinen Stahl vorgesehen. Außerdem ist in dem evakuierten Zwischenraum zur Reduzierung der Wärmeeinleitung auf das He-kalte Innenrohr ein gekühlter thermischer Strahlungsschild angeordnet.

Zumindest das He-Rohr eines solchen supraleitenden Kabels muß aus Metall hergestellt werden, weil die äußerst kleinen Heliumatome andere Materialien leicht durchdringen würden und dann die Hochvakuumisolation beeinträchtigen könnten. In metallischen Kühlmittelrohren werden aber Wirbelströme induziert, die erhebliche Wärme produzieren. Die damit verbundenen Zusatzverluste müssen vom Kühlmedium mit entsprechend großem Aufwand abgeführt werden. Um diese Schwierigkeit zu umgehen, wurden in bekannten supraleitenden Drehstromkabeln stets koaxiale, abgeschirmte Leiteradern verwendet. Ein derartiger koaxialer Aufbau bedingt jedoch mindestens doppelt so viel Supraleitermaterial, wie es für einen einfachen Leiteraufbau erforderlich wäre. Außerdem ist für entsprechende Kabel eine entsprechend angepaßte, unübliche Beschaltungstechnik erforderlich.

Seit etwa Anfang 1987 sind supraleitende Materialien bekannt, deren Sprungtemperatur  $T_c$  so hoch ist, daß sie nicht mehr mit flüssigem Helium (L He) von etwa 4 K zu kühlen sind, sondern bei denen eine Kühlung mit flüssigem Stickstoff (L N<sub>2</sub>) genügt. Bei diesen Materialien

handelt es sich um spezielle Metalloxide wie z.B. auf Basis des Stoffsystems Y-Ba-Cu-O (vgl. z.B. "Europhysics Letters" Vol. 4 No. 2 15.7.87 Seiten 247 bis 252 und Vol. 4, No. 5 1.9.87, Seite 637 oder "Physikalische Blätter", Bd. 43, Nr. 9, 1987, Seiten 357 bis 363). Filme bzw. dünne Schichten aus diesen Metalloxydverbindungen werden vielfach mit speziellen Bedampfungs- oder Sputterprozessen hergestellt. Hierbei wird auf einem geeigneten Substrat zunächst ein polykristallines oder amorphes Vorprodukt mit den Komponenten des gewählten Stoffsystems abgeschieden, wobei im allgemeinen der Sauerstoffgehalt nicht exakt eingestellt ist. Dieses Vorprodukt wird anschließend mittels einer Wärme- und Sauerstoffbehandlung in das Material mit der gewünschten supraleitenden Phase überführt. Neben dem genannten Stoffsystem Y-Ba-Cu-O weisen auch andere Stoffsysteme so hohe Sprungtemperaturen auf, daß sie mit L N<sub>2</sub> auf ihrer supraleitenden Betriebstemperatur zu halten sind. So sind z.B. Materialien auf Basis des Stoffsystems Bi-Sr-Ca-Cu-O ("Superconducting News Supplement", Vol. 1, No. 3, Februar 1988) oder auf Basis des Stoffsystems Ti-Sr-Ca-Cu-O ("International Conference on High  $T_c$  Superconductors and Materials and Mechanisms of Superconductivity", 29.2.-4.3.1988, Interlaken, CH) oder auf Basis des Stoffsystems La-Sr-Nb-O ("Journal of Low Temperature Physics", Vol. 69, Nos. 5/6, 1987, Seiten 451 bis 457 oder "The Japan Times" vom 21.1.1988) bekanntgeworden.

Alle diese supraleitenden Materialien sind den Oxidkeramiken zuzurechnen, so daß die entsprechenden Hoch- $T_c$ -Supraleiter vielfach auch als oxidkeramische Supraleiter bezeichnet werden.

Mit dem eingangs genannten Beitrag von A.P.Malozemoff et al ist vorgeschlagen worden, derartige oxidkeramische Supraleiter auch für supraleitende Kabel ("Superconducting Power Transmission Lines-SPTL") vorzusehen. Dabei wird von bekannten Konzepten supraleitender Kabel mit von L He zu kühlenden Supraleitern ausgegangen. Bei diesen bekannten Konzepten treten aber die erwähnten Probleme hinsichtlich Wirbelströmen, Supraleitermaterialaufwand und Beschaltungstechnik auf.

Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, ausgehend von diesem Kabelkonzept ein Rohrsystem für ein supraleitendes Kabel anzugeben, dessen mindestens eine supraleitende Leiterader mit einem bekannten oxidkeramischen Hochtemperatursupraleiter-Material zu erstellen ist. Dieses Rohrsystem soll einen möglichst einfachen Aufbau und eine an das Hochtemperatursupraleiter (HTSL)-Material angepaßte Kühltechnik ermöglichen, wobei insbesondere die bei den bekannten Kabeln durch Wirbelströme in metallischen Rohrteilen hervorgerufenen thermischen Zusatzverluste zumindest weitgehend vermieden werden.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß zumindest das Innenrohr aus einem vakuum- und kühlmitteldichten Kunststoffmaterial besteht.

Mit der Verwendung von einem Innenrohr aus einem elektrisch nicht-leitenden Material werden vorteilhaft Probleme aufgrund von in metallischen Teilen angeordneten Wirbelströmen von vornherein ausgeschlossen. Hierfür geeignete Kunststoffmaterialien, die hinsichtlich L N<sub>2</sub> kühlmitteldicht sind, sind allgemein bekannt.

Vorteilhafte Ausgestaltungen des Rohrsystems für ein supraleitendes Kabel gehen aus den Unteransprüchen hervor.

Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird nachfolgend auf die schematische Zeichnung Bezug genommen.

men, in deren Fig. 1 ein Querschnitt durch ein Rohrsystem veranschaulicht ist. Die Fig. 2 und 3 zeigen jeweils als Längsschnitt eine Verbindungsmöglichkeit von Teilstücken dieses Rohrsystems. Dabei sind in den Figuren sich entsprechende Teile mit denselben Bezugszeichen versehen.

Das Rohrsystem nach der Erfindung kann insbesondere für supraleitende Kabel vorgesehen sein, die als Drehstromkabel ausgelegt sind. Gemäß dem in Fig. 1 schematisch gezeigten Querschnitt enthält ein entsprechendes Kabel 2 ein Innenrohr 3, das aus einem vakuum- und kühlmitteldichten Kunststoffmaterial besteht. Das Innenrohr 3 ist konzentrisch von einem Außenrohr 4 umschlossen, so daß zwischen den Rohren ein Zwischenraum 5 ausgebildet ist. Als Material für das Außenrohr kann beispielsweise das Material des Innenrohres gewählt werden. Die beiden Rohre 3 und 4 können insbesondere aus faserverstärktem Kunststoff hergestellt werden. Hierfür sind z.B. Epoxidharze oder Thermoplaste geeignet, die mit Glas-, Keflar- oder Kohlefasern verstärkt sind. Die beiden Rohre 3 und 4 sind mittels thermisch schlecht-leitender Stützstrukturen in ihrer konzentrischen Lage gehalten. In der Figur ist die Hälfte eines entsprechenden Stützringes 6 angedeutet. Dieser Stützring ist so ausgebildet, daß verhältnismäßig lange Wege zwischen den Abstützungspunkten 7 und 8 an dem Innenrohr 3 bzw. dem Außenrohr 4 ausgebildet sind. In dem aus thermischen Gründen evakuierten Zwischenraum 5 kann sich ferner zur Begrenzung der Wärmeeinleitung auf das Innenrohr 3 eine bekannte mehrschichtige Superisolation 9 befinden. Außerdem kann an der Vakuumseite des Innenrohres 3 ein Sorptionsmittel 10, z.B. Aktivkohle oder Zeolith, angebracht sein, welches im kalten Zustand des Kabels die restlichen Moleküle im Vakuumraum bindet.

Innerhalb des Innenrohres 3 sind drei supraleitende Leiteradern 11 bis 13 untergebracht, die in bekannter Weise mit Supraleitern aus einem bekannten HTSL-Material aufgebaut sind. Dieses Material soll eine so hohe Sprungtemperatur  $T_c$  haben, daß es mit  $L N_2$  zu kühlen ist. Das Kühlmedium wird dabei durch den Innenraum 14 des Rohres 3 gefördert. Dieser Innenraum wird z.B. einen zentralen Stützkörper 15, um den ein Wickel 16 aus einem bandförmigen Leiter mit dem HTSL-Material gewickelt ist. Dieser Leiterwickel 16 ist von einer Isolation 17 umschlossen. Diese Isolation kann beispielsweise so ausgebildet sein, daß sie von dem  $L N_2$  getränkt ist.

Das Kühlmedium befindet sich z.B. in einem unterkühlten, flüssigen Zustand, d.h. im Normalbetrieb ist ein Sieden des Kühlmediums ausgeschlossen. Beispielsweise wird  $L N_2$  mit einer Temperatur von ca. 70 K und einem Absolutdruck von ca. 5 bar in das Innenrohr 3 eingeleitet. Beim Strömen durch das Rohr wird das Kühlmedium erwärmt und der Druck nimmt ab. Am Ende tritt das Kühlmedium immer noch unterkühlt aus, z.B. mit einer Temperatur von ca. 80 K und einem Absolutdruck von ca. 3 bar.

Wie schließlich noch Fig. 1 zu entnehmen ist, kann das Außenrohr 4 des supraleitenden Kabels 2 von einer Schutzschicht 18, die z.B. aus Bitumen besteht, umhüllt sein. Es lassen sich so mechanische Beschädigungen und ein Eindringen von Wasser vermeiden.

Das die thermische Isolation der supraleitenden Leiteradern 11 bis 13 bzw. des sie umgebenden  $L N_2$  gewährleistende Rohrsystem des supraleitenden Kabels ist in Fig. 1 allgemein mit 20 bezeichnet. Dieses Rohrsystem wird vorteilhaft aus vorgefertigten Teilstücken mit

Außen- und Innenrohr zusammengesetzt. Ein Verbindungsbereich zwischen zwei derartigen Teilstücken geht aus Fig. 2 hervor. Dabei sind in der Figur nur die bzgl. der Kabelachse A oberen Hälften dieser Teilstücke 21 und 22 als Längsschnitt veranschaulicht. Wie aus der Figur ersichtlich, ist jedes Teilstück 21 und 22 so ausgeführt, daß der evakuierte Raum 5 zwischen dem Außenrohr 4 und dem Innenrohr 3 an den Stirnseiten 23 bzw. 24 vakuumdicht abgeschlossen ist. Bereits bei der Herstellung wird dann jedes Teilstück an einem Evakuierstutzen 25 evakuiert, der anschließend vakuumfest verschlossen wird. Um die Vakuumdichtigkeit der einzelnen Kunststoffteile weiter zu verbessern, können gegebenenfalls in dem Außen- und Innenrohr 4 bzw. 3 sowie in den Verbindungsteilen an den Stirnseiten 23 und 24 dünne metallisierte Folien 26 als Diffusionssperren eingearbeitet sein.

Die einander zugewandten Stirnseiten 23 und 24 der Teilstücke 21 und 22 des erfindungsgemäßen Rohrsystems 20 sind so gestaltet, daß jeweils das eine Ende des einen Teilstückes in das andere Ende des anderen Teilstückes konzentrisch hineinragt. Auf diese Weise wird erreicht, daß Wärme, die vom warmen Außenrohr 4 zum kalten Innenrohr 3 fließen will, über die konzentrisch ineinanderragenden Rohrteile fließen und dabei einen entsprechend langen Weg überwinden muß. Die Wärmeeinleitung in den  $L N_2$ -Bereich im Inneren des Innenrohres 3 ist dementsprechend gering. Zwischen den ineinanderragenden Teilen der Teilstücke 21 und 22 an den Stirnseiten 23 und 24 verbleibt ein schmaler Spalt 27. In einem axial verlaufenden Teil dieses Spaltes befindet sich ein Dichtungselement 28, das den kalten Innenraum 14 mit dem  $L N_2$  von der Umgebung trennt. Zusätzlich kann der Spalt 27 nach außen hin noch mittels einer rohrförmigen Hülse 29 abgedeckt sein, damit eine Konvektion mit Wärmetransport im Spalt 27 zwischen den beiden Teilstücken 21 und 22 behindert wird. Die Hülse 29 läßt eine gegenseitige axiale Verschiebung der beiden Teilstücke 21 und 22 zu, d.h., sie ist höchstens mit einem dieser Teilstücke starr verbunden. Jedes der Teilstücke 21 und 22 besitzt außerdem noch eine Vorrichtung 30 zum Dehnungsausgleich, mit der die Längenänderung des Innenrohres 3 beim Abkühlen kompensiert wird. Diese Vorrichtung 30 ist bei der in Fig. 2 gezeigten Ausführungsform des Teilstückes 21 in das Außenrohr 4 in der Nähe dessen Stirnseite 23 integriert. Wie schließlich in Fig. 2 angedeutet ist, kann der Verbindungsbereich zwischen den beiden Teilstücken 21 und 22 mit einem zylinderförmigen Teil 31 zum mechanischen Schutz überbrückt sein.

In Fig. 3 ist eine weitere Ausbildungsmöglichkeit einer Verbindung zwischen zwei vorgefertigten Teilstücken 33 und 34 eines erfindungsgemäßen Rohrsystems in Fig. 2 entsprechender Darstellung angedeutet. Diese Ausführungsform unterscheidet sich von der Ausführungsform nach Fig. 2 im wesentlichen nur dadurch, daß auf ein besonderes Dichtungselement in dem zwischen den beiden stirnseitigen Enden dieser Teilstücke ausgebildeten Spalt verzichtet wird und lediglich ein abdichtendes Verbindungselement 29 an der Außenseite vorgesehen ist. Außerdem ist bei der dargestellten Ausführungsform die Vorrichtung 30 zum Dehnungsausgleich zwischen dem Außenrohr 4 und dem Innenrohr 3 in das Innenrohr integriert.

#### Patentansprüche

1. Rohrsystem für ein supraleitendes Kabel mit we-

nigstens einem starren Innenrohr,

— in dem mindestens eine supraleitende Leiterader mit einem oxidkeramischen Hochtemperatur-supraleiter-Material angeordnet ist, das von einem entsprechenden Kühlmedium 5 gekühlt ist, und

— das von einem starren Außenrohr konzentrisch umschlossen ist, wobei zwischen dem Innen- und dem Außenrohr ein evakuierter Zwischenraum ausgebildet ist, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest das Innenrohr (3) aus einem vakuum- und kühlmitteldichten Kunststoffmaterial besteht. 10

2. Rohrsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Außenrohr (4) aus einem vakuumdichten Kunststoffmaterial besteht. 15

3. Rohrsystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Kunststoffmaterial ein Epoxidharz oder ein Thermoplast ist.

4. Rohrsystem nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Kunststoffmaterial mit Fasern mechanisch verstärkt ist. 20

5. Rohrsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß in seine Kunststoffteile Folien (26) zur Erhöhung der Vakuumdichtigkeit eingelassen sind. 25

6. Rohrsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß in dem evakuierten Zwischenraum (5) eine Superisolation (9) angeordnet ist. 30

7. Rohrsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß auf der den evakuierten Zwischenraum (5) begrenzenden Außenseite des Innenrohres (3) Sorptionsmittel (10) aufgebracht sind. 35

8. Rohrsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß es aus mehreren vorgefertigten Teilstücken (21, 22; 33, 34) zusammensetzbar ist.

9. Rohrsystem nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Teilstücke (21, 22; 33, 34) in sich geschlossene evakuierbare Zwischenräume (5) zwischen dem jeweiligen Innen- und Außenrohr (3 bzw. 4) aufweisen. 40

10. Rohrsystem nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß benachbarte Teilstücke (21, 22; 33, 34) an ihren einander zugewandten Stirnseiten (23, 24) ineinandergreifend gestaltet sind, wobei zwischen ihnen ein Spalt (27) ausgebildet ist, der mit mindestens einer Dichtungsvorrichtung (28, 29) 50 verschlossen ist.

11. Rohrsystem nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Spalt (27) nach dem Zusammensetzen der Teilstücke (21, 22; 33, 34) mittels eines die beiden Teilstücke an ihren Außenrohren (4) 55 verbindenden rohrförmigen Elementes (29) abgedichtet ist.

12. Rohrsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Innenrohr (3) und/oder das Außenrohr (4) eine Vorrichtung (30) 60 zum Dehnungsausgleich enthält.

- Leerseite -

3811050

1/3

Nummer:  
Int. Cl.4:  
Anmeldetag:  
Offenlegungstag:

38 11 050  
H 01 B 12/14  
31. März 1988  
19. Oktober 1989

11

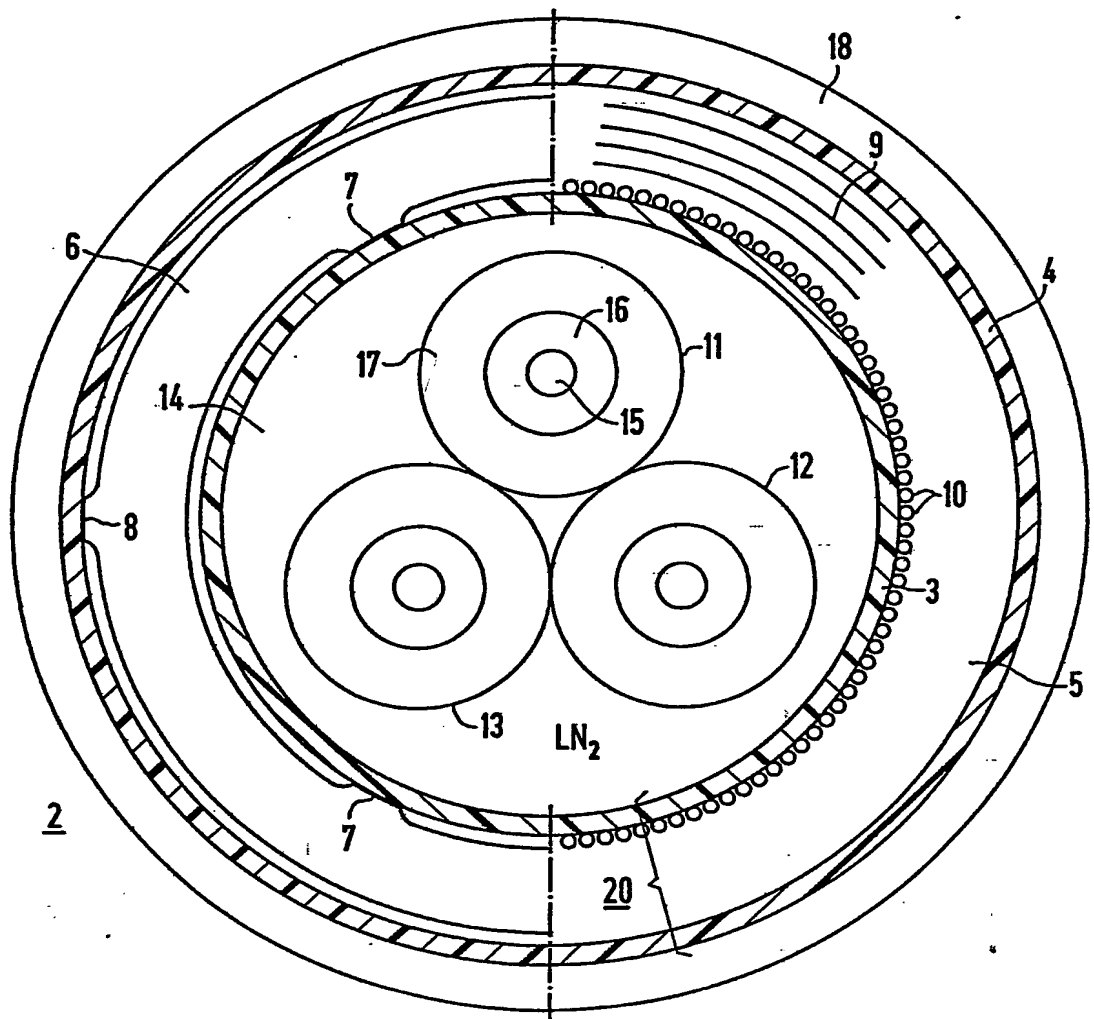
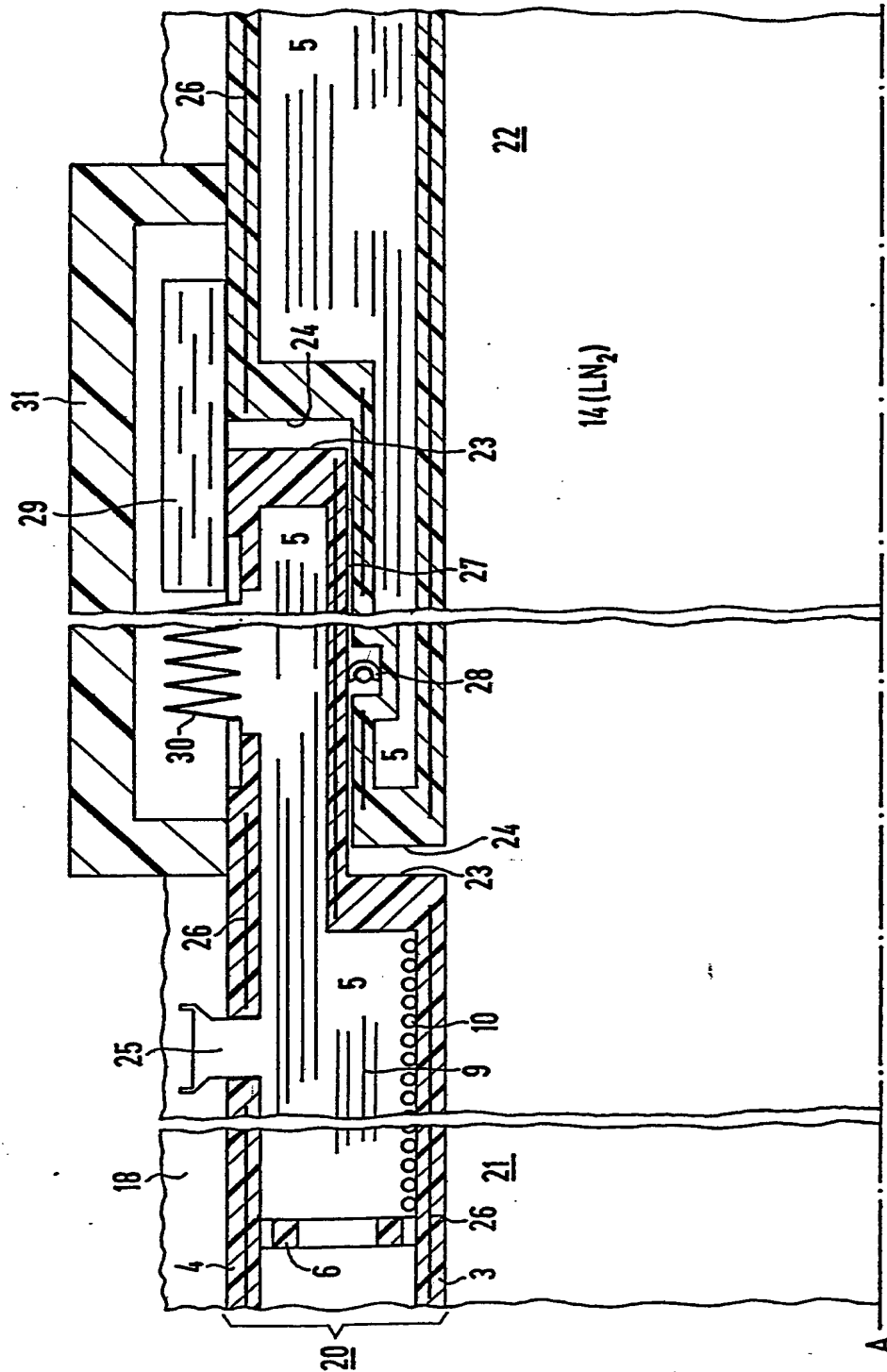


FIG 1



**FIG 2**

3/3

13 \*

3811050

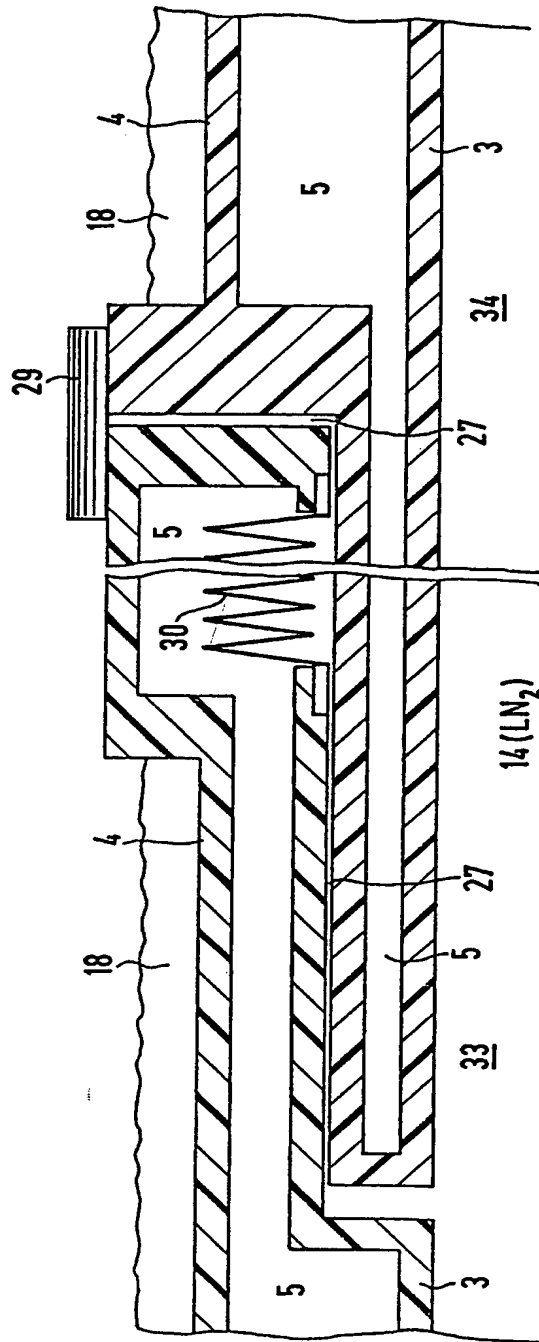


FIG 3